

Katarzyna Gawdzińska, Piotr Bielawski, Katarzyna Bryll\*, Ewelina Kostecka  
Akademia Morska w Szczecinie

# Czynniki materiałowe oddziałujące na jakość odlewów z kompozytów metalowo-ceramicznych

## Material factors affecting quality of castings made of metal-ceramic composites

### ABSTRACT

Shaping quality of a composite casting can be based on its output products analysis and with the use of destructive and non-destructive tests. The usage of substrates that are improper and of poor quality may contribute to occurrence of irregularities throughout entire technological process and during product exploitation. The work identifies material factors influencing the quality of these materials along with an indication of their effects using selected research methods.

**Keywords:** composite casting; quality of materials; destructive and non-destructive tests

### STRESZCZENIE

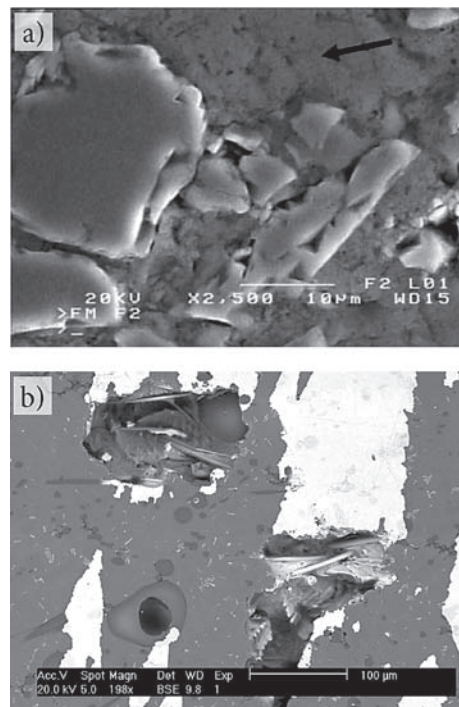
Zagadnienie kształtowania jakości wyrobu, jakim jest odlew kompozytowy może odbywać się w oparciu o analizę jego produktów wyjściowych, a także z wykorzystaniem badań niszczących i nieniszczących. Zastosowanie niewłaściwych, słabej jakości substratów przyczynić się może do powstawania nieprawidłowości w całym etapie procesu technologicznego, a także podczas eksploatacji wyrobu. W pracy określono czynniki materiałowe wpływające na jakość tych materiałów wraz ze wskazaniem ich skutków z wykorzystaniem wybranych metod badawczych.

**Słowa kluczowe:** odlewy kompozytowe; jakość materiałów; metody niszczące i nieniszczące

### 1. Wstęp

Dobrą jakość wyrobu może potwierdzić przede wszystkim odbiorca. Producent zaś jest zobowiązany stworzyć dobry wyrób, tzn. taki, który zaspokaja potrzeby użytkownika. Wyrób ten należy poddać kontroli. Kontrola jakości, według definicji [1], jest to sprawdzenie zgodności wykonania wyrobu z przewidzianymi dla niego wymaganiami. Dokumenty związane z zakupami niezbędnych materiałów dla odlewni do wytwarzania odlewów (zarówno surowców głównych, tj. surowki, żelazostopów, faza zbrojąca, jak i pomocniczych, np. dodatków stopowych, modyfikatorów, topników, zapraw, piasków formierskich, spoiw, utwardzaczy) powinny określać rodzaj, typ, klasę, odmianę produktu oraz jednoznaczny opis identyfikacji wraz z określeniem odpowiednich wymagań transportu, składowania, przechowywania w celu zapewnienia ich przydatności. Wskazane jest, aby wszystkie surowce były oznakowane i posiadały stosowne etykiety, certyfikaty. Materiały te muszą spełniać określone wymagania, które są szeroko opisane i znormalizowane [2-4]. Ważne jest, aby były one zakupione u stałych, sprawdzonych, solidnych dostawców. Niedopełnienie tych zaleceń może skutkować różnymi wadami, np. niejednakowymi wielkościami fazy zbrojącej lub zanieczyszczeniami struktury odlewu, których przykład (w odniesieniu do odlewów kompozytowych) pokazano na rysunku 1. Wykrywanie tych wad odbywać może się z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej lub elektronicznej skaningowej, defektoskopii radiologicznej lub ultradźwiękowej, a także tomografii komputerowej.

\*Autor korespondencyjny. E-mail: k.bryll@am.szczecin.pl

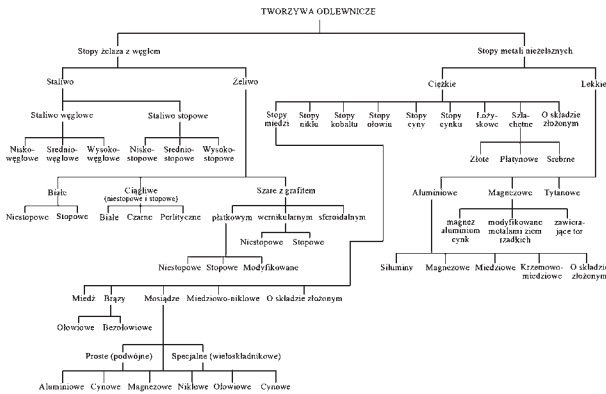


Rys. 1. Kompozyty metalowe: a) mikrostruktura kompozytu AlSi9/SiC, różnorodne wymiary i kształt cząstek zbrojenia (SEM); b) ciało obce w zbrojeniu; zanieczyszczenie sferyczne (skład chemiczny Al, Si, Sr, Fe) w kompozycie: włókno glinokrzemianowe – osnowa AlSi11 (SEM).

Fig. 1. Metal composites: a) microstructure of AlSi9/SiC composite, various sizes and shapes of reinforcement particles (SEM); b) foreign body in reinforcement; spherical pollution (chemical composition of Al, Si, Sr, Fe) in the composite: aluminosilicate fiber - AlSi11 matrix (SEM).

**2. Czynniki materiałowe oddziałujące na jakość odlewów**

Materiał na odlewy (rys. 2) powinien być przygotowany zgodnie z instrukcjami lub normami obowiązującymi dla danej grupy materiałów [5-6].



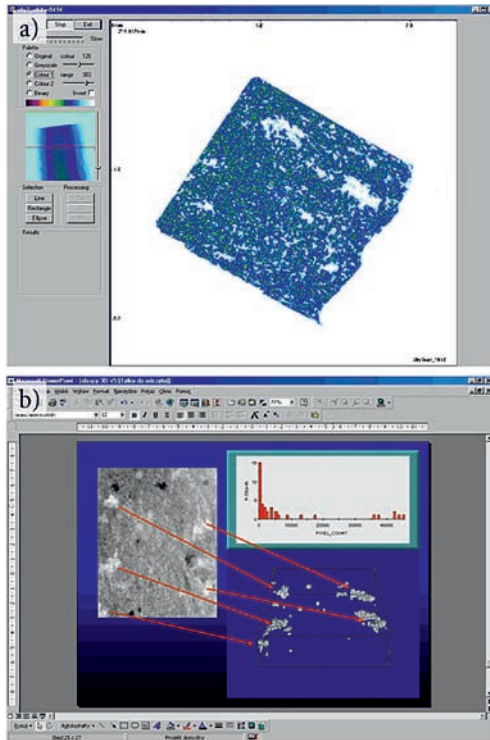
Rys. 2. Podział stopów odlewniczych [6].  
Fig. 2. Division of foundry alloys [6].

Wykrywanie tych wad odbywać może się z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej lub elektronowej skaningowej, defektoskopii radiologicznej (rys. 4) lub ultradźwiękowej, a także emisji akustycznej, porozymetrii rtęciowej, tomografii komputerowej.



Rys. 4. Rzadziżny; kompozyt: zbrojenie – włókno glinokrzemianowe, osnowa: AlSi11; a – struktura kompozytu (badania makroskopowe), b – ten sam kompozyt – obraz cyfrowy z radiogramu (defektoskopia radiologiczna).

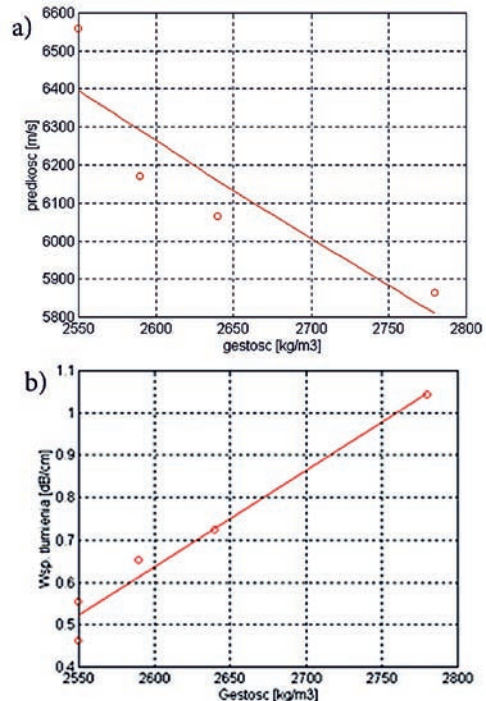
Fig. 4. Microshrinkage; composite: reinforcement - aluminosilicate fiber, matrix: AlSi11; a - structure of the composite (macroscopic examination), b - the same composite - digital image from the radiograph (radiographic defectoscopy).



Rys. 3. Wyraźnie widoczne nieciągłości (porowatość) – kolor biały: a) w strukturze obszaru badanego materiału; b) rozkład przestrzenny porowatości w makroobszarze odlewu na podstawie badań tomograficznych, kompozyt: zbrojenie – włókno węglowe, osnowa – AlSi11.

Fig. 3. Clearly visible discontinuities (porosity) - white color: a) in the structure of the area tested; b) Spatial distribution of porosity in the macro-area of the casting based on tomographic tests, composite: reinforcement - carbon fiber, matrix - AlSi11.

Właściwości stopów związane z ich stanem ciekłym, tj. lejącość, skurcz odlewniczy, skłonność do pochłaniania gazów (powodująca pojawianie się porowatości- rys.3), powstawanie wtrąceń niemetalicznych, w istotny sposób mogą przyczynić się do zapewnienia jakości gotowego wyrobu [1].



Rys. 5. Zależność prędkości rozchodzenia się fali (a) i współczynnika tłumienia (b) od gęstości materiału kompozytowego.

Fig. 5. The dependence of the wave propagation velocity (a) and the attenuation coefficient (b) on the density of the composite material.

W przypadku odlewów kompozytowych materiały te stanowią osnowę wyrobu i podlegają zasadom obowiązującym

dla klasycznych stopów odlewniczych. Ważne jest jednak, aby w przypadku kompozytów mogło dojść do dobrego, wzajemnego połączenia między metalem (lub stopem) – jako osnową i zbrojeniem, bowiem warunkuje to powstanie kompozytu. Do oceny jednorodności struktury może być przydatna defektoskopia ultradźwiękowa. Ciągłość struktury materiału kompozytowego obrazuje rys. 5.

Osnowa zatem musi mieć odpowiednie cechy istotne dla pracy kompozytu: gęstość, wytrzymałość, plastyczność, przewodność cieplną i elektryczną, temperaturę pracy, odporność korozyjną i właściwości magnetyczne. Spełnia ona następujące zadania [1-2, 7]:

- 1) spaja zbrojenie,
- 2) umożliwia przenoszenie naprężeń na zbrojenie,
- 3) decyduje o właściwościach chemicznych i cieplnych kompozytu,
- 4) nadaje żądany kształt wyrobom.

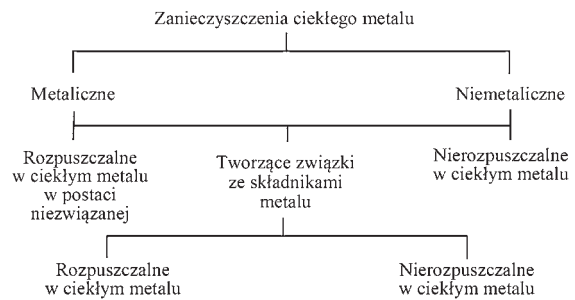
Jako osnowę metalową stosuje się najczęściej stopy (w tabelicy 1 przedstawiono wybrane właściwości tych materiałów): aluminium, magnezu, tytanu, ołowiu, cynku, srebra, niklu i miedzi. Stopy te można podzielić na cztery grupy [7-8]:

- 1) stopy metali lekkich (Al, Mg) – dzięki niskiej gęstości właściwej, niskiej temperaturze topnienia i stosunkowo łatwej technologii przeznaczane są do wytwarzania kompozytów stosowanych w lotnictwie i przemyśle samochodowym.
- 2) stopy srebra i miedzi – są osnową kompozytów wykazujących dobre właściwości cieplne i elektryczne;
- 3) stopy niklu – stanowią osnowę kompozytów żarostojących wytwarzanych najczęściej w procesach kierunkowej krystalizacji (łopatki turbin);
- 4) stopy ołowiu i cynku – to osnowy kompozytów o dobrych właściwościach ślizgowych.

Duży wpływ na jakość odlewów (tak w przypadku odlewów z materiałów klasycznych, jak i odlewów kompozytowych) mają zanieczyszczenia ciekłego metalu lub stopu (osnowy w przypadku odlewów kompozytowych). Zanieczyszczenia te można podzielić w sposób pokazany na rysunku 6.

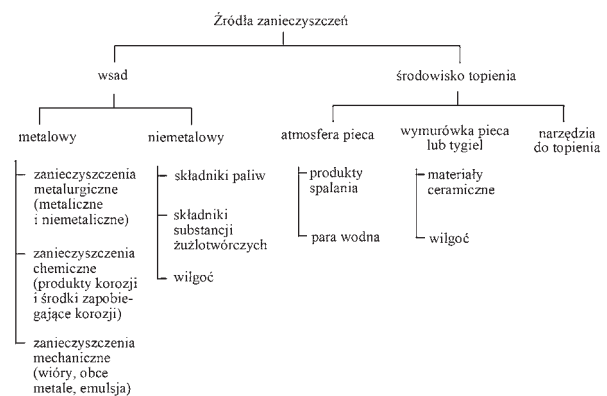
Zanieczyszczeniami są wszystkie pierwiastki i związki znajdujące się w ciekłym metalu wbrew zamierzeniom technologicznym [6, 9-10]. Przedostają się one do metalu różnymi drogami. Źródła zanieczyszczeń ciekłego metalu

przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 6. Podział zanieczyszczeń ciekłego metalu ze względu na ich rodzaj i postać występowania [6].

Fig. 6. Distribution of liquid metal impurities due to their type and form [6].



Rys. 7. Źródła zanieczyszczeń ciekłego metalu [6].

Fig. 7. Sources of liquid metal pollution [6].

Jeżeli nie zostaną usunięte zanieczyszczenia w procesie metalurgicznym, a także w wyniku procesów fizykochemicznych zachodzących pomiędzy metalem a otaczającym go ośrodkiem, może się zmieniać początkowy skład chemiczny metalu lub stopu (osnowy) oraz ilość zanieczyszczeń. Ma to również wpływ na przebieg krzepnięcia i właściwości skrzepłego metalu. Właściwa jakość wsadu jest pierwszym z czynników zapewniających odpowiednie parametry metalu (lub stopu), a w kompozytach: osnowy.

W przypadku odlewów kompozytowych należy omówić jeszcze materiał zbrojący. Zbrojenie musi mieć następujące właściwości: odpowiednią gęstość, wytrzymałość, sztywność,

Tab. 1. Właściwości fizyczne i mechaniczne metali oraz niektórych stopów stosowanych na osnowy materiałów kompozytowych [8].  
Tab. 1. Physical and mechanical properties of metals and some alloys used for the matrix of composite materials [8].

Materiał	Ciężar właściwy g/cm <sup>3</sup>	Temp. topnienia °C	Moduł sprężystości GPa	Współczynnik Poissona	Wytrzymałość na rozciąganie MPa	Twardość HB	Rozszerzalność cieplna α 10 <sup>-6</sup> /K	Przewodność cieplna λ W/(m·K)
Al	2,70	660	75	0,35	70–190	15–20	26,2	201
AlSi11	2,6	577	7	0,35	10	55	20,1	174
AlCu4Ti	2,71	650	7	0,35	330	90	25,4	125
Mg	1,74	649	–	0,40	250	35	26,0	134
Ti	4,40	1670	100	0,33	550	260	8,6	19,3
Ag	10,5	960	0	–	125	25	1,7	423
Pb	11,3	327	15,9	0,50	12	3	2,5	34,9
Zn	7,1	419	–	0,35	12 – 16	33 – 35	13,0/63,0	129
Ni	8,9	1452	–	0,3	440	90	13,0	92



Tab. 2. Właściwości niektórych materiałów stosowanych na zbrojenie [7].

Tab. 2. Properties of some materials used on reinforcement [7].

Materiał	Gęstość kg/m <sup>3</sup>	Temperatura topnienia K	Ciepło właściwe kJ/(kgK)	Współczynnik przewodności cieplnej W/(mK)	Mikrotwardość HV	Współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha$ 10 <sup>-6</sup> /K
MgO	350	3073	2,09	34,2	9–11	15,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3970	2327	1,09	30,2	10–12	5,4
TiO <sub>2</sub>	4240	2113	0,4	6,3	7–19	10
SiO <sub>2</sub>	2320	2011	0,75	1,7	7,5–12	7,5
ZrO <sub>2</sub>	5560	2900	0,46	1,6	16	7–10
SiC( $\beta$ )	3200	–	1,0	45–450	21–37	3
TiC	4900	3140	0,42	36	1–32	7,4–9,3
C (grafit)	2250	–	1,63	11,6–175	–	–
BN( $\alpha$ )	2270	3023	0,92	14,3	0	0,2
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	310	1900	4	7	33	2,75

rozszerzalność cieplną, zdolność tworzenia właściwego połączenia z osnową, odporność na destrukcyjne działanie metalu osnowy, stabilność właściwości wytrzymałościowych i brak przemian fazowych w temperaturze pracy. Właściwości niektórych materiałów stosowanych na zbrojenie przy wytwarzaniu odlewów kompozytowych przedstawiono w tabeli 2. Zbrojenie oddziałuje zazwyczaj tylko fizycznie na osnowę i ma następujące zadania:

- 1) poprawia określone właściwości mechaniczne i (lub) użytkowe wyrobu,
- 2) niekiedy zmniejsza koszt wsadu surowcowego (dotyczy to napelnaczy proszkowych).

Najczęściej stosowane materiały na zbrojenie, to: bor, węgiel (grafit), ceramika (SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), B<sub>4</sub>C, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, TiC, TiB<sub>2</sub> i stal.

Tab. 3. Metody badawcze służące do opisu struktury odlewów z metalowych materiałów kompozytowych.

Tab. 3. Research methods used to describe the structure of castings of metal materials composite.

Metody nieniszczące	Metody niszczące
Defektoskopia radiologiczna	Mikroskopia świetlna
	Mikroskopia konfokalna
	Mikroskopia elektronowa skaningowa
	Mikroskopia sił atomowych
Defektoskopia ultradźwiękowa	Mikroanaliza rentgenowska
Tomografia komputerowa	Porozymetria rtęciowa
Emisja akustyczna	Dyfrakcja rentgenowska

### 3. Podsumowanie

Ocena jakości gotowych odlewów z materiałów klasycznych i odlewów z kompozytów metalowo-ceramicznych może być przeprowadzona przy wykorzystaniu różnorodnych metod niszczących i nieniszczących. W tabeli 3 wskazano podstawowe metody badawcze stosowane do

opisu struktury odlewów z metalowych materiałów kompozytowych. Szczegółowy opis tych metod został przedstawiony w pracach autorów [3,7,11] W niniejszym artykule zaprezentowano tylko częściowy opis tych metod ze względu na ograniczenia edytorskie. W dalszych pracach autorzy skoncentrują się nad kompleksową diagnostyką omawianych tworzyw, co będzie przedstawione w kolejnych artykułach.

### 4. Literatura/References

- [1] Sobczak J.: Teoretyczne i praktyczne podstawy procesu prasowania w stanie ciekłym (squeeze casting) metali nieżelaznych. Prace Instytutu Odlewnictwa nr 41, Kraków 1993.
- [2] Konopka Z.: Metalowe kompozyty odlewane. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.
- [3] Gawdzińska K.: Materiałowo-technologiczne uwarunkowania jakości odlewów z metalowych materiałów kompozytowych. Archives of Foundry Engineering, Komisja
- [4] Odlewnictwa PAN, Katowice–Gliwice 2012.
- [5] Sobczak J., Sobczak N., Asthana R., Wojciechowski A., Pietrzak K., Rudnik D.: Atlas of cast metal-matrix composites structures. Motor Transport Institute – Warsaw & Foundry Research Institute – Cracow, 2007.
- [6] Sobczak J., Sobczak N., Wojciechowski A., Pietrzak K., Rudnik D.: Atlas struktur kompozytów metalowych. Wydawnictwo Instytutu Transportu Samochodowego, Warszawa 2004.
- [7] Gawdzińska K., Chybowski L., Przetakiewicz W.: Study of Thermal Properties of Cast Metal/Ceramic Composite Foams. Archives of Foundry Engineering 17, 4, 2017, 44–50.
- [8] Łybacki W., Modrzyński A., Szweycer M.: Technologia topienia metali. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1986.
- [9] Łybacki W., Zawadzka K.: Wspomaganie diagnostyki wad odlewów narzędziami zarządzania jakością. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji 28 (1), 2008, 89–101.
- [10] Szweycer M.: Metalurgia. Skrypt nr 1735. Politechnika Poznańska, Poznań 1993.
- [11] Gawdzińska K., Grabian J., Pędzich J., Przetakiewicz W.: Description of selected structural elements of composite foams using statistical methods. Archive of Foundry Engineering 11, Special Issue 2, 2011, 53–58.